



TITLE:

斜張橋ケーブルの空力振動現象と 制振対策に関する研究(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

榎, 一平

CITATION:

榎, 一平. 斜張橋ケーブルの空力振動現象と制振対策に関する研究. 京都大学, 2019, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2019-03-25

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21739>

RIGHT:

許諾条件により本文は2020-03-24に公開

京都大学	博士（工学）	氏名	榊 一平
論文題目	斜張橋ケーブルの空力振動現象と制振対策に関する研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>近年斜張橋の長支間化に伴ってケーブルが長尺化しており、固有振動数が低下することから、各種空力振動現象の発生が危惧され、耐風設計上の重要な課題となっている。空力振動を制振するためには、構造的対策と空力的対策があり、前者ではダンパーやケーブル相互連結等が実際に多くの斜張橋に適用され、一定の効果を上げている。しかし、斜張橋のケーブル本数も多いことから、維持管理コストが増大する問題がある。一方、メインケーブル表面の形状を変更することで制振する空力的対策は、基本的にはメンテナンスが不要となり、今後より注目される可能性が高い。しかし、空力振動自身の発生機構にも未解明な点が数多く残されており、空力現象の解明が急務の課題である。さらに、ケーブルに作用する静的風荷重も斜張橋全体の設計に影響を及ぼすため、より抗力の小さいケーブル表面の開発が望まれているところである。</p> <p>本論文は、斜張橋ケーブルに要求される優れた静的空気力特性と空力振動に対する制振効果を有するケーブル形状の開発を実施するとともに、各種空力振動現象と表面形状との関係の考察を通して、発現機構の解明を行うことを目的としている。さらに実用化への検討も実施している。本論文は全 6 章で構成されており、以下に各章の実施内容および主な成果を示す。</p> <p>第 1 章は序論であり、本研究の背景と目的を述べている。本研究で対象とする空力振動現象は、単体ケーブルにおいて降雨時に発生するレインバイブレーションおよび降雨なしでも発生するドライステートギャロッピング、並列ケーブルで発生するウェイク振動であり、一般に想定されるケーブルの空力振動現象を網羅していることを述べている。</p> <p>第 2 章では、斜張橋ケーブルにおいて、耐風設計時には比較的小さな抗力係数が要求されることから、抗力低減効果を有する新しいケーブル表面形状を見出すことを目的に、様々な形状に対して静的空気力測定実験を実施している。さらに、ケーブル表面形状と静的空気力特性の関係の分析に基づき、抗力低減効果を有するスパイラル突起形状を特定するとともに、静的空気力特性、渦放出特性の調査、可視化実験による流れ場の観察をおこなうことで、抗力低減効果のメカニズムについて考察を加えた。その結果、レインバイブレーションの抑制も考慮して、ケーブル表面に水路が形成されないような工夫を施した 12 本のスパイラル突起付きのケーブルを提案し、実際に抗力が小さいことを確認している。その理由として、螺旋状突起による剥離点のケーブル軸方向への変化が 3 次元的な剥離流れを生み出し、カルマン渦の放出を抑えることで抗力係数を低減させる効果をもたらすことを明らかにしている。</p> <p>第 3 章では、降雨を再現できる風洞実験設備を用いたばね支持自由応答実験により、単独配置のケーブルに生じるレインバイブレーションとドライステートギャロッピングを再現するとともに、第 2 章で見出したスパイラル突起付きケーブルの制振効果を</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	榊 一平
<p>既存の空力的対策との相対比較で評価している。その結果、スパイラル突起付きケーブルでは、水路の形成も認められず、レインバイブレーションも抑制されること、加えてドライステートギャロッピングに対しても安定であることが確認され、従来の空力対策が施されたケーブルよりも高い制振効果を示すことを証明している。また、スパイラル突起のサイズ、詳細形状が空力的制振効果に及ぼす影響と影響範囲を検討しており、スパイラル突起の本数は4本以上、突起高さは3 mm以上が推奨されることを明らかにしている。</p> <p>第4章では、気流中に2本のケーブルが配された場合に、下流側ケーブルで発生するウェイク振動について、普通円柱とスパイラル突起付き円柱との組み合わせを変えたばね支持自由応答試験で応答特性を調査している。第2章で明らかとなったスパイラル突起がカルマン渦を抑制する特徴を利用して、二円柱の場合とは異なる流れ場を作り出し、下流側模型に作用する非定常空気力や模型間の流れ場を調査することでウェイク振動の発現機構の考察を試みている。その結果、並列ケーブルで発生するウェイク振動について、下流側のケーブルにスパイラル突起付きケーブルを採用することで、ケーブル間に流れるGap-Flowが3次元効果によって抑制され、制振効果が得られることを解明している。さらに、スパイラル突起はカルマン渦の放出を抑制する効果があることを利用して、カルマン渦とウェイク振動の関係を明らかにしている。</p> <p>第5章では、優れた静的空気力特性と制振効果を有することが確認されたスパイラル突起ケーブルについて、その実用化に向けた設計上の要点を述べるとともに、ポリエチレン一括被覆によるスパイラル突起の製造可否について試作実験、さらには試作したケーブルを用いた架設性確認試験によって、生産性および架設性に問題がないことを確認している。また、供用後における寒冷地での着雪特性を把握するために実施した模型暴露試験より、一般的な気候の地域では空力的対策への着雪性が問題となる可能性は少ないと考えられる一方で、特別豪雪地帯において円断面ケーブルよりも表面で雪を保持する可能性が高くなり留意が必要であることを明らかにしている。</p> <p>第6章では結論であり、本論文の成果を総括し、今後の課題とともに取りまとめている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、長大斜張橋ケーブルに求められる優れた静的空気力特性と空力振動に対する制振効果を有するケーブル表面形状の開発と、その制振機構ならびに空力振動現象の発生機構の考察を目的としたものである。得られた主な成果は次のとおりである。

1. ケーブル表面に 12 本の螺旋状の突起を設置したところ、巻き付け角度 27° で既存のディンプルケーブルと同等の抗力低減効果が得られることを示した。
2. スパイラル突起付きケーブルについてはカルマン渦の形成はほとんど確認されず、変動揚力係数が小さいことや、その結果抗力係数が小さくなることと整合していることを示した。これはスパイラル突起による剥離点のケーブル軸方向への変化が 3 次元的な剥離流れを生み出し、カルマン渦の放出を抑えることで抗力係数を低減させる効果をもたらしていることを明らかにした。
3. スパイラル突起付きケーブルは、降雨状態で発生するレインバイブレーションおよび非降雨状態で発生するドライステートギャロッピングの両方を抑制する効果があることを示した。さらに、実橋梁に適用実績のある既存の空力的対策との比較においても、最も高い制振効果を示すことを明らかにした。また、スパイラル突起の本数については 4 本以上、突起高さは 3 mm 以上が推奨されることを示した。
4. 並列配置のケーブルに生じるウェイク振動は、非定常揚力の鉛直速度比例成分に起因する鉛直 1 自由度フラッターと、連成空気力項による逆位相 2 自由度連成フラッター、ならびに同位相 2 自由度フラッターに分類されることを普通ケーブルと流れ場の異なるスパイラル突起付きケーブルを用いて明らかにした。
5. 並列ケーブルにおいて、下流側ケーブルをスパイラル突起付きとした場合、1 自由度鉛直フラッター、非定常な 2 自由度連成フラッターともに顕著な制振効果が確認されることを示し、スパイラル突起を用いることで並列ケーブルに生じるウェイク振動を抑制できることを示した。前者の振動が抑制される理由は、流れの三次元性により、Gap-Flow の発生が抑制されるためであることを明らかにした。
6. スパイラル突起付きケーブルの生産性および架設性に大きな問題が無いことを試作実験と架設実験により示した。ただし、一般的な気候の地域で着雪性が問題となる可能性は少ないと考えられる一方で、特別豪雪地帯においては表面に雪を保持する可能性があり、留意が必要であることを明らかにした。

以上より本論文は、斜張橋ケーブルの空力振動に対して制振効果を有するケーブルの表面形状とその空力的制振機構を示しており、学術上、実務上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 31 年 2 月 21 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。